Aus dem Tropenmedizinischen Institut der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. H. J. Knüttgen

Die regionale Verteilung der Schweißbildung in feuchtheißem Klima in Abhängigkeit von der Arbeitsbelastung

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

dem Fachbereich Theoretische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Darab Kamanabroo
aus Abadan/Iran

1970

Aus dem Tropenmedizinischen Institut der Universität Tübingen
Direktor: Professor Dr. med. H. J. Knüttgen

Die regionale Verteilung der Schweißbildung in feuchtheißem Klima in Abhängigkeit von der Arbeitsbelastung

Inaugural-Dissertation
zur Erlangung des Doktorgrades
der Medizin

dem Fachbereich Theoretische Medizin
der Eberhard-Karls-Universität
zu Tübingen

vorgelegt von
Darab Kamanabroo
aus Abadan/Iran

1970

UNIV.
LEIDEN
BIBL.

Dekan: Professor Dr. H.J. Knüttgen

1. Berichterstatter: Professor Dr. W. Höfler
2. Berichterstatter: Professor Dr. H.J. Knüttgen

FOTODRUCK PRÄZIS Barbara v. Spangenberg KG · Tübingen

INHALTSVERZEICHNIS

	Seite
Einleitung und Fragestellung	1
Material und Methodik	2
Ablauf der Versuche und der Messungen	3
Ergebnisse und Diskussion	5
Zusammenfassung	9
Literatur	15

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41547609_0002

"Einleitung und Fragestellung"

Eine Zunahme der Schweißsekretion bei muskulärer Arbeit ist als alltägliche Erfahrung bekannt. Je höher die Belastung und je länger diese andauert, umso größer ist die Schweißproduktion.

Als weitere Ursache vermehrter Schweißproduktion kommen thermische Reize und Emotionen in Betracht. Die vermehrte Schweißproduktion bei Belastungen beruht darauf, daß durch die muskuläre Arbeit im Körper vermehrt Wärme entsteht. Neben Konvektion und Radiation ist die evaporative Wärmeabgabe eine der wichtigsten Möglichkeiten des menschlichen Körpers, um die Wärmebilanz aufrechtzuerhalten. Bei besonders heißem Klima ist sie sogar die einzige Möglichkeit.
Verdunsten von einem Liter Schweiß auf der Körperoberfläche bedeutet eine Wärmeabgabe von ca. 580 kcal.. Es liegen zahlreiche Arbeiten vor, aus denen ersichtlich wird, daß es im Verlauf der Hitzeakklimatisation, sei es unter natürlichen oder künstlichen Bedingungen, zu einer Änderung des prozentualen Anteiles der einzelnen Körperteile an der Schweißbildung kommt. Beim Akklimatisierten nehmen die Extremitäten prozentual mehr an der Schweißproduktion teil als bei Unakklimatisierten (zu den Extremitäten muß hier auch der Kopf gezählt werden). Es liegt also bei Akklimatisierten eine günstigere Verteilung der Schweißsekretion hinsichtlich der Verdunstung vor.

HÖFLER und SCHMAUZ untersuchten die Abhängigkeit der Schweißmenge von Unterarm und Unterschenkel sowie der Gesamtschweißmenge in Abhängigkeit von der Lufttemperatur bei einem zehnmonatigen Aufenthalt im natürlichen, tropischen Klima in Abeokuta/Nigeria. Sie fanden eine Zunahme des Anteils der Extremitäten mit steigender Lufttemperatur.

Bei 24° C Lufttemperatur waren beide Unterarme und beide Unterschenkel mit nur 4 % an der Gesamtschweißmenge beteiligt, bei 32° C waren es 14 %.

Die Beteiligung der Extremitäten an der Schweißproduktion nimmt also mit dem Grad der H i t z e b e l a s t u n g und ebenso auch im Verlauf der H i t z e a k k l i m a t i s a t i o n zu. In beiden Fällen bedeutet das eine Oekonomisierung des Wasserhaushaltes bei großen Schweißmengen. In diesem Zusammenhang interessiert die Frage, ob auch die Zunahme der Schweißmenge bei höherer A r b e i t s b e l a s t u n g mit einer größeren Beteiligung der Extremitäten einhergeht. Die hier dargestellten Versuche in der Klimakammer bei unakklimatisierten und nicht trainierten Versuchspersonen befassen sich daher mit folgenden Fragen:

1. Läßt sich an den einzelnen Körperteilen Unakklimatisierter eine Abhängigkeit:

   a) der Schweißintensität (mg/100 cm^2 • Min.)
   b) der Schweißrate (g/h)

   von der Arbeitsleistung nachweisen?

2. Ändert sich der prozentuale Anteil der einzelnen Körperteile an der Schweißmenge in Abhängigkeit von der Arbeitsleistung?

MATERIAL UND METHODIK:

Als Versuchspersonen dienten vier unakklimatisierte, nichttrainierte Männer von 25- 31 Jahren, mit einem Durchschnittsgewicht von 73 kg (63-87) und mit einer Durchschnittsgröße von 177 cm (169-185). Die Versuche wurden zwischen dem 6.1.69 und 8.2.69 durchgeführt.

Nach jedem Versuchstag folgten für jede Versuchsperson drei versuchsfreie Tage. Die Temperatur in der Klimakammer betrug 34° C, die relative Luftfeuchtigkeit 75 %. Die verwendete Klimakammer ist in der Arbeit von SCHMOLL (1967) ausführlich beschrieben worden.

Ablauf der Versuche und der Messungen:

a) Versuchsablauf: Begonnen wurde mit 30 Min. Ruhe, anschließend 6 x 50 Min. Arbeit auf dem Fahrradergometer (1. Versuchstag 6 mkp/s, 2. Versuchstag 1 mkp/s, 3. Versuchstag 4 mkp/s, 4. Versuchstag 6 mkp/s, 5. Versuchstag 1 mkp/s, 6. Versuchstag 4 mkp/s).

b) Messungen: Die Pulsfrequenz wurde mit dem fotoelektrischen Pulszähler nach E.A. Müller (Himmelmann, Dortmund) fortlaufend gezählt und alle 5 Min. abgelesen. Mundtemperatur, Hauttemperatur von Stirn, Brust, Handrücken, Oberschenkel und das Raumklima wurden alle 5 Min. protokolliert.

Die Versuchspersonen wurden bei Versuchsbeginn, vor und nach jeder Arbeitsperiode und am Versuchsende auf 50 g genau gewogen.
Die Gewichtsdifferenz wurde als Schweißmenge auf je eine Stunde umgerechnet. Zu den gleichen Zeitpunkten wurde die Rektaltemperatur mit einem klinischen Quecksilberthermometer gemessen. Die in einer Arbeitsperiode verlorene Schweißmenge wurde während der folgenden Arbeit durch Trinken von körperwarmem Tee ersetzt, so daß die Flüssigkeitsbilanz ausgeglichen blieb. Im Anschluß an die letzte Arbeitsperiode wurde die regionale Verteilung der Schweißproduktion nach WEINER (1945) gemessen.
Die regionale Schweißsekretion wurde an folgenden Körperstellen gemessen:

1. Stirn
2. re. Wange
3. li. Halsseite
4. Brust re.
5. re. Thoraxseite
6. Rücken unterhalb des re. Schulterblattes
7. li. Oberarm-Außenseite
8. li. Unteram-Innenseite
9. li. Oberschenkel-Außenseite
10. li. Oberschenkel-Innenseite
11. li. Unterschenkel-Außenseite

Am Kopf wurden Plexiglasringe (2 cm tief, 4 cm Durchmesser) verwendet, die mit Gummiband befestigt wurden. Am Stamm und an den Extremitäten wurden 10 x 14 cm große Zellstoffplatten (Moltex-Vlieswindeln) befestigt. Die Haut innerhalb der Ringe wurde mit Zellstoff gut ausgetrocknet und dann im Abstand von 30 sec. der Reihe nach mit Parafilm "M" Folie verschlossen. Die Zellstoffplatten wurden ebenfalls im Abstand von 30 sec. der Reihe nach auf die gut abgetrockneten Hautstellen aufgelegt und mit Plastikfolie abgedeckt. Nach genau 6 Min. wurden in derselben Reihenfolge die Folien wieder abgenommen und der Schweiß innerhalb der Ringe mit einem Wattebausch abgetupft. Die Watte wurde in fest verschlossenen Gläschen aufbewahrt, die Zellstoffplatten kamen in Plastikbeutel.
Watte und Zellstoffplatten wurden vor und nach der Prozedur gewogen (auf 1 mg genau). Die Gewichtsdifferenz ergab die abgesonderte Schweißmenge, aus welcher die mittlere Schweißintensität (mg/100 cm^2 min.), die Schweißrate (g/h), sowie die integrale Schweißmenge errechnet wurden.
Die integrale Schweißmenge ist die Summe der Schweißraten der einzelnen Körperteile. Schließlich wurde für die einzelnen Körperteile das Verhältnis Schweißrate/ Integrale Schweißmenge in Prozent berechnet.

Das ist der prozentuale Anteil des betreffenden Körperteils an der gesamten Schweißmenge.
Für die Berechnung der Schweißrate (g/h) mußten die Körperoberfläche jeder Versuchsperson und die Oberflächen von Kopf, Stamm, Armen und Beinen nach dem Verfahren von DU BOIS und DU BOIS (1915) ausgemessen werden.
Für die Auswertung im Sinne der Fragestellung wurde die Abhängigkeit der Größen: Schweißintensität (mg/100 cm^2 min.), Schweißrate (g/h), Integrale Schweißmenge (die Summe der Schweißrate) und prozentualer Anteil der vier Körperteile von der Arbeitsbelastung einer Regressionsanalyse 2. Grades unterworfen.
Da der Wirkungsgrad der Ergometerarbeit bei den verschiedenen Versuchspersonen und bei den 3 Belastungsstufen nicht als gleich angenommen werden konnte, wurde als Maß für die Belastung nicht die am Ergometer geleistete Arbeit zugrunde gelegt, sondern der Energieumsatz.
Hierzu wurden an jeder Versuchsperson bei jeder Belastungsstufe 1-2 Messungen des Gaswechsels durchgeführt. Während einer Arbeitsstunde atmete die Versuchsperson durch das Respirationsgerät des Max-Planck-Instituts, Dortmund. O_2-Gehalt und CO_2-Gehalt der Ausatmungsluft wurden nach SCHOLANDER analysiert.

Ergebnisse und Diskussion:

Bei keiner der Versuchspersonen konnte von einer Hitzeakklimatisation die Rede sein, da jedem Versuchstag 3 versuchsfreie Tage außerhalb der Klimakammer folgten. Bei den hier durchgeführten Untersuchungen in der Klimakammer mit 75 % relativer Luftfeuchtigkeit und 34° C Trockentemperatur, wurde folgendes beobachtet:

Der in den Versuchen erfaßte Bereich der Energieproduktion liegt etwa zwischen 60 - 120 kcal/m^2. h.

Die Schweißintensität an einzelnen Körperteilen verhält sich wie folgt (Abb. 1):
Die Schweißdrüsenaktivität ist am Kopf am größten. Hier beträgt der Mittelwert der mittleren Intensität 59 mg/100 cm^2. min., am Stamm 28, am Arm 22, und am Bein 19 mg/100 cm^2. min. Am Kopf, Stamm und Arm läßt sich eine Korrelation der Intensität in Abhängigkeit von der Arbeitsleistung nachweisen. Dabei ist diese am Kopf stärker ausgeprägt als am Stamm und am besten gesichert für die obere Extremität (siehe auch Signifikanztabelle). Die Korrelationen der Schweißintensität der einzelnen Körperteile mit der Arbeitsleistung sind in der dazugehörigen Abbildung dargestellt.

Die Integrale Schweißmenge (Abb. 2) zeigt eine steigende Tendenz je nach der Belastung und läßt sich gut mit der Belastung korrelieren ($0{,}1 > p > 0{,}05$). Die Integrale Schweißmenge beträgt im Mittelwert 302 g/h; davon werden 43 g/h vom Kopf geliefert, 125 g/h vom Stamm, 48 g/h von Armen und 86 g/h von den Beinen.

Die prozentualen Anteile von Kopf, Stamm, Armen und Beinen verhalten sich also im Mittel wie 13:41:16:30.

Der Anstieg der Schweißproduktion mit der Belastung ist bei Kopf und Stamm verhältnismäßig groß. Bei der niedrigsten Arbeitsbelastung werden vom Kopf im Mittel 23,5 g/h geliefert, bei der höchsten Belastung 56,9 g/h. Beim Stamm betragen die entsprechenden Schweißraten 104 bzw. 140 g/h (Abb. 3).

Es ist von Interesse, zu prüfen, ob der Anstieg der Integralen Schweißmenge etwa dem erhöhten Bedarf an Verdunstungskühlung bei höherer Belastung entspricht. Bei einer durchschnittlichen Körperoberfläche der 4

Versuchspersonen von 1,974 m^2 beträgt die Energieproduktion bei der niedrigsten Belastung im Durchschnitt 118 kcal/h, bei der höchsten Belastung etwa 237 kcal/h. Wenn man die mechanische Arbeit von 1 bzw. 6 mkp/s = 7 bzw. 42 kcal/h von diesen Werten abzieht, erhält man das "Verdunstungssoll" unter diesen Bedingungen von 111 bzw. 195 kcal/h.
Das Steigungsmaß der Integralen Schweißmenge beträgt 1,32 g/kcal oder 0,76 kcal/kcal. Die bei der niedrigsten Arbeitsbelastung gebildete Schweißmenge könnte dem Körper 148 kcal/h entziehen, die der höchsten Belastung zugehörige Integrale Schweißmenge 194 kcal/h.

Bei der höchsten Belastung entspricht also die Integrale Schweißmenge dem Verdunstungssoll, bei der niedristen Belastung ist sie größer als erforderlich. Da die Integrale Schweißmenge in der auf die letzte Arbeitsperiode folgenden Ruhe an der sitzenden Versuchsperson gemessen wurde, ist eine genaue Übereinstimmung mit dem Verdunstungssoll während der Arbeit nicht unbedingt zu erwarten. Immerhin zeigt aber die durchgeführte Rechnung, daß das Verfahren zur Bestimmung der Integralen Schweißmenge vernünftige Werte liefert, die in der zu erwartenden Größenordnung liegen.

Wie aus den Abbildungen zu entnehmen ist, läßt sich die Schweißrate am Stamm und Bein mit der Belastung nicht gut korrelieren, wohl aber am Kopf und an den oberen Extremitäten (siehe auch die Signifikanztabelle).

Die Veränderungen der prozentualen Anteile der einzelnen Körperteile an der gesamten Schweißmenge ist in Abb. 4 dargestellt. Wie aus den Abbildungen zu entnehmen ist, zeigt am Kopf der prozentuale Anteil der Schweißmenge eine leicht steigende Tendenz, die jedoch nicht signifikant ist ($p > 0{,}1$).

Am Stamm ist der prozentuale Anteil unabhängig von der Belastung.
Die Korrelation am Arm und Bein ist negativ, ebenso an Arm und Bein zusammen, aber nicht signifikant.
Der prozentuale Anteil von Armen, Beinen und Kopf zusammen zeigt keine Abhängigkeit von der Belastung.
Es ist also festzustellen, daß keine signifikanten Änderung des prozentualen Anteils der einzelnen Körperteile an der Schweißmenge in Abhängigkeit von der Belastung zu beobachten war (siehe auch Signifikanztabelle).
An einer Abhängigkeit der gesamten Schweißmenge von der Belastung kann nach der Erfahrung und nach den Untersuchungen anderer Autoren (KUNO 1936, IWATAKE 1947, ADOLPH 1947, HÖFLER 1966, SCHMAUZ und HÖFLER 1969) kein Zweifel bestehen. In unserer Untersuchung ließ sich diese Abhängigkeit für die Integrale Schweißmenge, für die Schweißintensität von Kopf, Stamm und Arm, und für die Schweißrate von Kopf und Arm nachweisen.
Mit einer größeren Zahl von Versuchen wäre sicher auch eine bessere Signifikanz zu erreichen. Dagegen läßt sich keine Abhängigkeit des prozentualen Anteils der Extremitäten an der Schweißproduktion vom Grade der Arbeitsbelastung nachweisen, obwohl beim Akklimatisierten eine Abhängigkeit von der Hitzebelastung besteht (HÖFLER 1966, HÖFLER, SCHMOLL, VOIGT 1966, HÖFLER 1968, WYNDHAM 1967, LAASER 1968, HÖFLER und SCHMAUZ 1969). Es wäre voreilig, aus diesen Ergebnissen den Schluß zu ziehen, daß in dieser Hinsicht ein Unterschied zwischen Hitze- und Arbeitsbelastung angenommen werden muß. Für das negative Ergebnis unserer Untersuchung könnten verschiedene Umstände verantwortlich sein:

1) Die Messung der regionalen Schweißproduktion wurde nicht während der Arbeit, sondern während der auf die letzte Arbeit folgenden Erholungsphase vorgenommen.

2) Es handelte sich um unakklimatisierte Versuchspersonen. Bei diesen ist die Schweißdrüsenleistung der Extremitäten begrenzt (HÖFLER 1968). Außerdem sind die intra- und interinduviduellen Unterschiede in der Schweißdrüsenleistung bei Unakklimatisierten größer als bei Akklimatisierten (DEEN 1968). Entsprechende Versuche sollten daher auch an akklimatisierten Versuchspersonen durchgeführt werden.

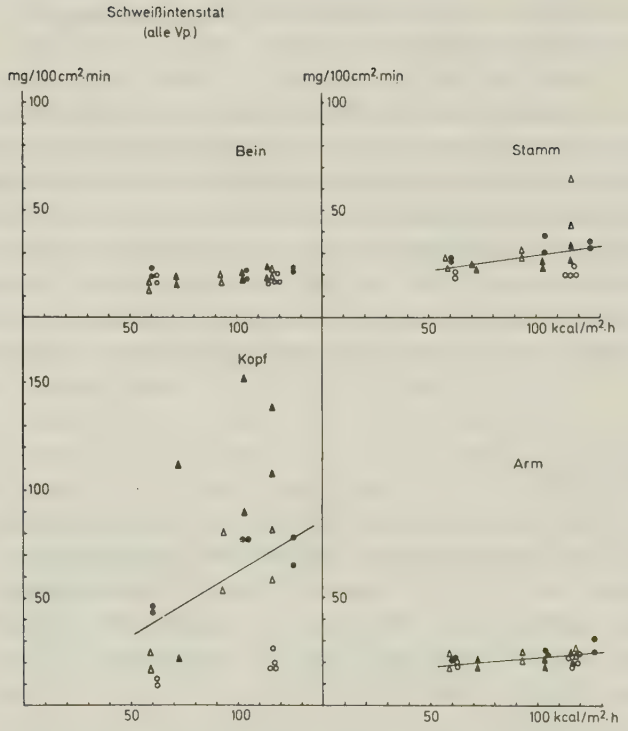
Zusammenfassung:

1) 4 nichttrainierte, unakklimatisierte Versuchspersonen leisteten jeden 4. Tag Testarbeit in der Klimakammer auf dem Fahrradergometer mit verschiedenen Belastungen (1,4 und 6 mkp/s). Die Trockentemperatur in der Klimakammer betrug durchgehend 34° C, die relative Feuchtigkeit 75 %.

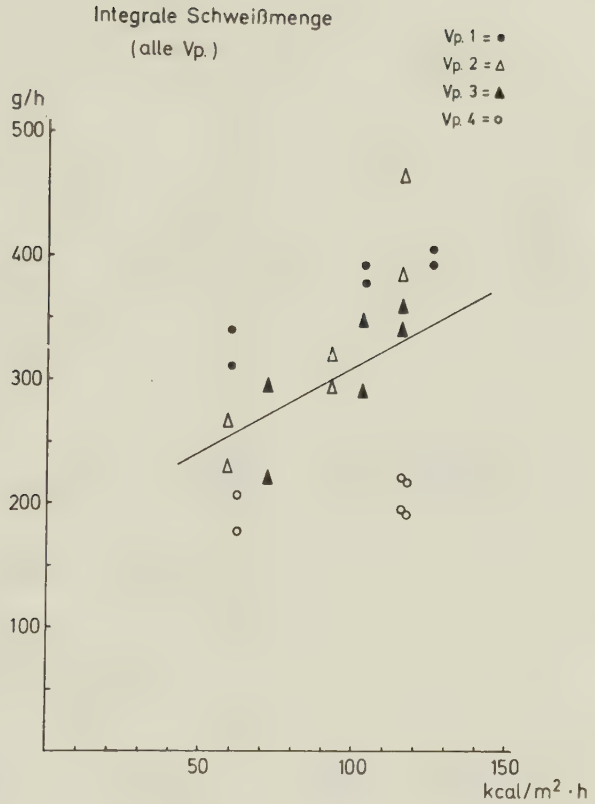
2) Am Ende eines jeden Versuchstages wurde die lokale Schweißproduktion nach WEINER untersucht. Man stellte eine Zunahme der Integralen Gesamtschweißmenge in Abhängigkeit von der Belastung fest. Die Korrelation ist signifikant ($0{,}1 > P > 0{,}05$).

3) Eine Änderung des prozentuellen Anteils der einzelnen Körperteile an der Schweißmenge in Abhängigkeit von der Belastung, wie es bei Akklimatisierten der Fall ist, wurde in dieser Untersuchung nicht festgestellt.

4) Entsprechende Untersuchungen sollten auch an akklimatisierten Versuchspersonen durchgeführt werden.

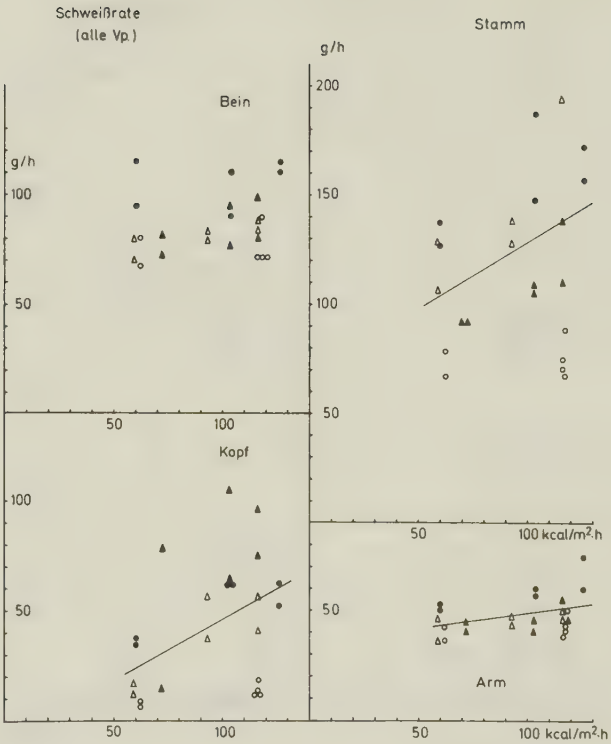


Ab. 1
Mittlere Schweißintensität (mg/100 cm^2.min.). der einzelnen Körperteile (alle VP) in Abhängigkeit von der Arbeitsleistung (Gesamtumsatz). Jedes Symbol bezeichnet eine VP.



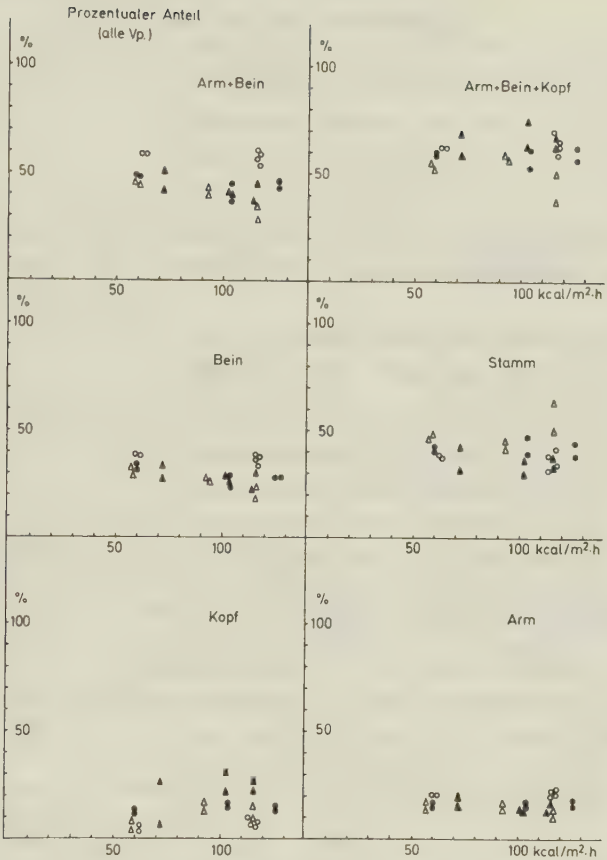
Ab. II

Integrale Schweißmenge (alle VP) in Abhängigkeit von der Arbeitsleistung (Gesamtumsatz).
Jedes Symbol bezeichnet eine VP.



Ab. III

Schweißrate (g/h) der einzelnen Körperteile (alle VP) in Abhängigkeit von der Arbeitsleistung (Gesamtumsatz). Jedes Symbol bezeichnet eine VP.



Ab. IV

Prozentualer Anteil einzelner Körperteile und Arm + Bein sowie Arm + Bein + Kopf. (alle VP) in Abhängigkeit von der Arbeitsleistung (Gesamtumsatz).
Jedes Symbol bezeichnet eine VP.

TABELLE I

Signifikanz gegen Null

n = 24

Körperteil	mg/100 cm^2. Min. Schweißintensität	g/h Schweißrate	% Anteil an der Int.Ges.Schweißmenge
Kopf	0,1 > P > 0,05 r = + 0,363	P < 0,05 r = + 0,450	P > 0,1 r = + 0,330
Stamm	0,1 > P > 0,05 r = + 0,347	P > 0,1 r = + 0,291	P > 0,1 r + -0,023
Arm	P < 0,05 r = + 0,645	P < 0,05 r = + 0,428	P > 0,01 r = 0,116
Bein	P > 0,1 r = + 0,306	P > 0,1 r = + 0,218	P > 0,1 r = -0,319
Arm +Bein			P > 0,1 r = - 0,253
Arm +Bein + Kopf			P > 0,1 r = - 0,123
Intens.GEs. Schweißmenge		0,1 > P > 0,05 r = + 0,399	

LITERATUR:

ADOLPH, E.F.: Physiology of man in the desert. New York: Interscience Publishers 1947.

ASCHOFF, J.: Wechselwirkungen zwischen Kern und Schale im Wärmehaushalt. Arch.phys. Ther. 8, 3 (1956)

DEEN, M.: Lokale Hauttemperatur und lokale Schweißbildung. Diss.Tübingen 1968

DU BOIS, D. and E.F. DU BOIS: The measurement of the surface of man. Arch. intern. Med. 15, 868 (1915).

HÖFLER, W.: Verlauf der Hitzeakklimatisation in einem natürlichen tropischen Klima. Z. Tropenmed. Parasit. 17, 127 (1966).

HÖFLER, W., D. SCHMOLL u. R. VOIGT: Verteilung der Schweißsekretion auf der Körperoberfläche bei der Hitzeakklimatisation. Naturwissenschaften 53, 506 (1966).

HÖFLER, W.: Verhalten der Schweißsekretion bei der Akklimatisation in einem natürlichen tropischen Klima. Int.Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysil. 22, 317-326 (1966).

HÖFLER, W.: Hitzeakklimatisation. Hippokrates, Heft 14, S. 517-524 (1968).

HÖFLER, W.: Changes in regional distribution of sweating during acclimatization to heat. J.appl.Physiol. 25, 503-506 (1968).

HÖFLER, W. LADIPOH, J. and U. LAASER: Beziehung zwischen Schweißmenge, Verdunstung und Körpertemperatur bei der Akklimatisation in künstlichem feuchtheißem Klima, Int.Z. angew. Physiol. 27, 34-42 (1969).

KUNO, Y.: The physiology of human perspiration. 1956 Charles C Thomas. Publishers.

LEITHEAD, C.S.& LIND, A.R.: Heat stress and heat disorders. London: Casell (1964).

LAASER, U.: Physiologische Reaktion während eines fünfwöchigen Daueraufenthaltes in einem künstlichen feuchtheißen Klima. Int. Z. angew. Physiol. einschl. Arbeitsphysiol. 25, 279-302 (1968).

SCHMOLL, D.: Phasen der Akklimatisation an Hitzearbeit während eines dreiwöchigen Daueraufenthaltes in einem feuchtheißen Klima. Dissertation, Tübingen (1966).

SCHMAUZ, R. u. HÖFLER : Pulsfrequenz, Kerntemperatur, Wasser- u. Elektrolytstoffwechsel bei 10-monatigem Aufenthalt in natürlichem tropischem Klima Z. Tropenmed. u. Parasitol. Sept. 1969.

VOIGT, R.: Veränderung an der Schweißverteilung bei Daueraufenthalt in einem künstlichen feuchtheißen Klima. Dissertation, Tübingen (1967).

WEINER, J.S.: The regional distribution of sweating. J. Physiol. (Lond.) 104, 32 (1945).

WYNDHAM, C.H.: Effect of acclimatisation on the sweat rate/rectal temp. relationsphip. J.appl. physiol. 22, 27-30 (1967).

WYNDHAM, et al: REF. in: Tropical disease Bulletin 63, 895 (1966).

Lebenslauf

Als Sohn des Mohammed Kamanabroo und seiner Ehefrau Sakineh wurde ich, Darab Kamanabroo, am 27. 1. 1937 in Abadan/Iran geboren.
Ich besuchte die Farhang-Volksschule und das Farrochie-Gymnasium in Abadan/Iran, wo ich meine Reifeprüfung abgelegt habe.
Ab 1. 11. 1957 begann ich mein Medizinstudium an der Gondi-Schahpur-Universität in Ahwaz/Iran, wo ich 4 Jahre lang studierte.

Mein Medizinstudium habe ich ab 5. 11. 1961 an der Universität Tübingen fortgesetzt und dort am 14. 12. 1964 mein Medizinisches Staatsexamen abgeschlossen.
Vom 1. 1. 1965 bis 24. 2. 1967 war ich als Medizinal-Assistent tätig.
Vom 24. 2. 1967 an war ich als Assistenzarzt im Kreiskrankenhaus Kirchen/Sieg tätig, und seit dem 15. 2. 1969 bin ich Assistenzarzt auf der Inneren Abteilung des Kreiskrankenhauses Altenkirchen/Westerwald.